

УДК 550.388.2

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ДОПЛЕРОВСКОГО ФАЗОУГЛОМЕРНОГО КОМПЛЕКСА НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ «СПЕКТР»

В.В. Бочкарев, А.М. Дрешер, Р.Р. Латыпов, И.Р. Петрова

Аннотация

В данной работе представлен комплекс наклонного доплеровского зондирования ионосферы «Спектр». На основе применения современных технических средств обработки информации создана надежная измерительная система для проведения долгосрочных (до нескольких месяцев) непрерывных измерений радиосигналов, что расширяет возможности для исследования долгопериодных волновых процессов в ионосфере Земли. Описанная в работе модернизация алгоритмов управления и обработки данных позволяет проводить мониторинг текущего состояния ионосферы в автоматическом режиме, без присутствия оператора.

Ключевые слова: ионосфера, доплеровский сдвиг частоты, доплеровский комплекс «Спектр».

Введение

Доплеровский фазоугломерный комплекс «Спектр» представляет собой систему наклонного мониторинга ионосферы с малой базой [1, 2]. Комплекс был создан в 80-е годы XX века в Казанском государственном университете для исследования распределения углов прихода радиосигналов в КВ-диапазоне, а также статистических закономерностей и физической природы искажений частотного спектра радиосигналов. Принципы работы комплекса базируются на интерференционных методах радиозондирования с использованием узкополосных сигналов непрерывно излучающих станций КВ – диапазона. При проведении экспериментов в качестве зондирующих сигналов используются сигналы станций точного времени (РВМ, РИД) и радиовещательных станций (Радио России, ВВС, Радио Свободы и др.) [3]. Блок-схема измерительного комплекса приведена на рис. 1. В состав комплекса входят: антенно-фидерная подсистема, включающая в себя антенны, антенные усилители (АУ) и фидеры (Ф); четырехканальное радиоприемное устройство (РПУ); система калибровки амплитуд и фаз, включающая в себя синтезатор опорного сигнала (AD9851), управляемый усилитель, радиочастотный усилитель, цифроаналоговые (ЦА) преобразователи управления усиления РПУ; подсистему первого гетеродина, в составе гетеродина (AD9852) и активного разветвителя (АРв); блок цифрового приёма, включающий аналого-цифровые преобразователи (АЦП); опорный генератор (Ч1-50), GPS-приёмник, GPRS-модем. Прерывистой линией на рисунке выделены следующие подсистемы: антенная (1), калибровки (2), цифрового приёма (3).

Выделенные пунктирной линией на рис. 1. подсистемы были реализованы с использованием устаревшей аппаратной базы, для управления использовалась не отвечающая современным требованиям шина ISA ПК. В связи с тем что на современных ПК шина ISA отсутствует, появилась необходимость изменить аппаратную

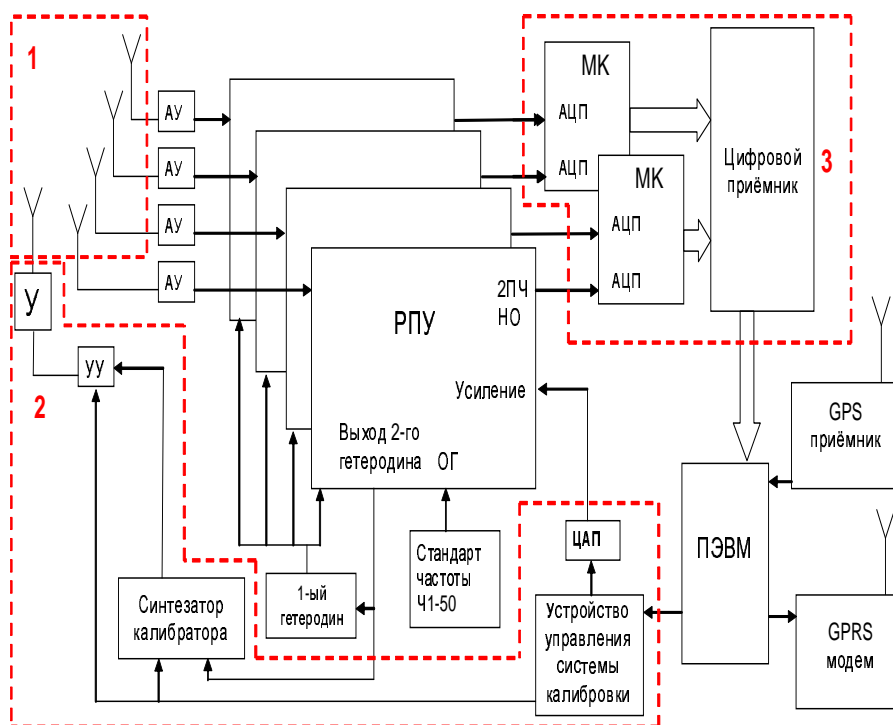


Рис. 1. Блок-схема измерительного комплекса

часть этих систем или заменить их на вновь разработанные. В ходе аппаратной модернизации системы управления комплексом были сделаны следующие разработки: схема управления приёмными трактами, система калибровки, система сбора информации.

В состав антенно-фидерной подсистемы комплекса входит антенное устройство из 4-х антенн, которые обеспечивают прием радиосигналов КВ-диапазона. Используются антенны с вертикальной поляризацией и круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости типа «вертикальный вибратор». Для определения углов прихода используются измерения с квадратурным разложением сигнала на низкой частоте, позволяющие определять фазовые и амплитудные характеристики при дальнейшей цифровой спектральной обработке сигналов.

Система калибровки доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр» является отдельным функциональным узлом и состоит из следующих блоков: устройства управления, калибровочного генератора на основе прямого цифрового синтезатора частоты, управляемого усилителя, радиочастотного антенного усилителя, антенны калибратора, 4-х ЦА-преобразователей для управления усилением промежуточной частоты радиоприёмного устройства. Управление системой калибровки осуществляется с использованием USB интерфейса. Система калибровки осуществляет коррекцию неидентичности приёмных каналов следующим образом. Антенна калибратора расположена в ближней зоне приёмной антенной системы. Калибратор непрерывно излучает радиосигнал, настроенный на 7–15 Гц от частоты принимаемого системой ионосферного радиосигнала. Сигнал калибратора проходит весь радиоприёмный тракт комплекса и может быть настроен по амплитуде в зависимости от условий радиоприёма. Это позволяет учитывать фазовые и амплитудные искажения, вносимые неидентичностью каналов приёмного тракта при дальнейшей обработке.

В комплексе используются радиоприёмные устройства Р339 «Катран». Для обеспечения фазовой когерентности каналов приема в угломерном режиме в качестве первого гетеродина используется общий для всех приемников внешний гетеродин. Источником измеряемого сигнала является выход 2-й промежуточной частоты РПУ (частота 215 кГц, полоса 300 Гц – 10 кГц). Обработка проводится различными способами цифрового приема, в зависимости от методики эксперимента применяется или квадратурное аналоговое детектирование (вариант рассчитан на измерение параметров узкополосных сигналов), или цифровое детектирование и цифровая фильтрация [4]. Так как принимаемый ионосферный сигнал обладает сложной многомодовой структурой, которая приводит к глубоким замираниям сигнала, необходимо регулярно проводить автоматическую подстройку усиления приемного тракта. В используемых РПУ Р-339, как упоминалось выше, не предусмотрен режим внешнего управления усилением или ослаблением сигнала. С целью устранения этого недостатка в стандартную схему РПУ были внесены соответствующие доработки. Усиление устанавливается регулировкой управляющего потенциала на затворах полевых транзисторов усилителей 2-й промежуточной частоты при помощи сигналов ЦА-преобразователей управляющего контроллера системы калибровки.

Дискретизация сигнала осуществляется при помощи встроенного в микроконтроллер C8051F064 16-битного АЦП, предельная частота дискретизации которых равна 1 МГц, что позволяет оцифровывать сигнал напрямую со 2-й промежуточной частоты радиоприёмника (215 кГц). При этом полоса принимаемого радиосигнала фактически ограничена максимально возможной 10 кГц полосой приёма радиоприёмного устройства. Для организации высокоскоростной обработки оцифрованных данных была использована отладочная плата фирмы Altera с установленной на ней микросхемой программируемой логики Cyclon II. В состав устройства, реализованного на микросхеме ПЛИС, входят: интерфейсный блок, блок цифрового разделения квадратур (по одному на каждый приёмный канал), цифровой фильтр и дециматор (для каждой квадратурной компоненты отдельно), блок связи с ПК.

1. Внешнее управление. Телеметрия

В ходе проведения длительных и непрерывных циклов измерений на загородном полигоне возникла необходимость увеличить функциональность программного обеспечения доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр». Это обусловлено невозможностью постоянного присутствия оператора на полигоне, следовательно, управляющая программа должна иметь возможность управления и контроля собственных параметров дистанционно. Для этого в состав комплекса был включен GSM/GPRS модем, задачей которого является обеспечение беспроводного доступа в сеть интернет, отправка телеметрической информации и приём управляющей.

Работа программы в автоматическом режиме до модернизации осуществлялась следующим образом: перед началом работы загружался файл сценария работы, после чего комплекс работал, исходя из загруженных параметров работы. Файл сценария содержит в себе частоту принимаемого сигнала, которая устанавливается на радиоприёмниках, а также расписание работы программы на 1 ч в виде последовательности шагов определенной длительности. В используемых файлах сценария были задействованы следующие шаги: калибровка фазы, подстройка усиления радиоприёмных устройств, снятие данных. При такой структуре работы программы организовать внешнее управление было проблематично, потребовалось бы серьёзно изменить алгоритм работы управляющей программы.

Первым шагом при модернизации ПО стало добавление возможности отправки телеметрических параметров, отвечающих за работоспособность комплекса. В ка-

честве таких данных были выбраны значения кода напряжения на выходах ЦА-преобразователей, которые управляют коэффициентами усиления промежуточной частоты для каждого из радиоприёмных устройств, и количество свободного места на диске компьютера. Первый параметр отвечает за работоспособность комплекса, так как значение коэффициента усиления подбирается, исходя из уровня принимаемого сигнала, и не должно достигать предельных значений ЦА-преобразователя. Если напряжение достигло предельного значения, то это значит, что произошёл отказ канала радиоприёмного устройства. Второй параметр важен, так как при переполнении жёсткого диска произойдёт сбой программного обеспечения. Телеметрические данные записываются в файл 2 раза в 1 ч. После этого данный файл может быть автоматически передан с использованием протокола FTP или протокола SMTP (электронной почты). Основным каналом связи комплекса является ftp-канал, для этого был использован сервер Казанского государственного университета. Файлы записываются на сервер и автоматически сортируются по датам. В результате проделанной работы появилась возможность получать информацию о работоспособности комплекса, находясь в г. Казани, а при критическом изменении параметров комплекса выезжать для ремонта или технического обслуживания аппаратуры.

Вторым шагом стало внесение существенных изменений в управляющую программу комплекса, изменился и формат файлов сценария. Работа программы была разделена на три отдельные задачи: измерения, визуализации, обработки данных. Такое разделение позволило оптимизировать работу программы. Взаимодействие между задачами организовано через передачу полученных данных из потока измерения через записанный на диск файл, таким образом, в случае сбоев или ошибок не происходит потери информации. Процедуры визуализации и обработки данных были перенесены в соответствующие задачи без изменений, блок-схема потока измерений представлена на рис. 2.

После модернизации аппаратной части комплекса стало возможным задавать частоту каждого приёмного устройства [5]. Это позволило работать в автоматическом режиме при проведении многочастотных доплеровских измерений. Ранее в режиме многочастотного доплеровского зондирования автоматически устанавливалась частота только одного радиоприёмного устройства, а три оставшихся управлялись в ручном режиме. Файл сценария в настоящее время имеет предопределённое имя и загружается автоматически 2 раза в 1 ч после окончания цикла измерения. Были расширены возможности процедуры отправки данных по протоколу ftp, теперь она не только отправляет телеметрические данные, но и забирает текущий файл сценария с ftp-сервера. В ходе работы возникла необходимость отслеживать такие важные события, как отключение силового питания или вскрытие аппаратной, в которой находится комплекс. Эта задача была решена с использованием разработанной системы контроля параметров комплекса [6].

2. Плата контроля

Работа комплекса на радиофизическом полигоне вызывает необходимость контроля аппаратуры путём использования блока контроля, не зависящего от комплекса и питающей сети. К такому блоку предъявляются следующие требования: высокая автономность, наличие собственного источника питания; использование независимого канала связи; наличие функций контроля параметров питающих напряжений комплекса, контроля температуры, контроля проникновения в аппаратную. В качестве независимого канала связи был выбран GSM/GPRS-канал. Для выполнения этих требований был использован микроконтроллер фирмы Cygnal

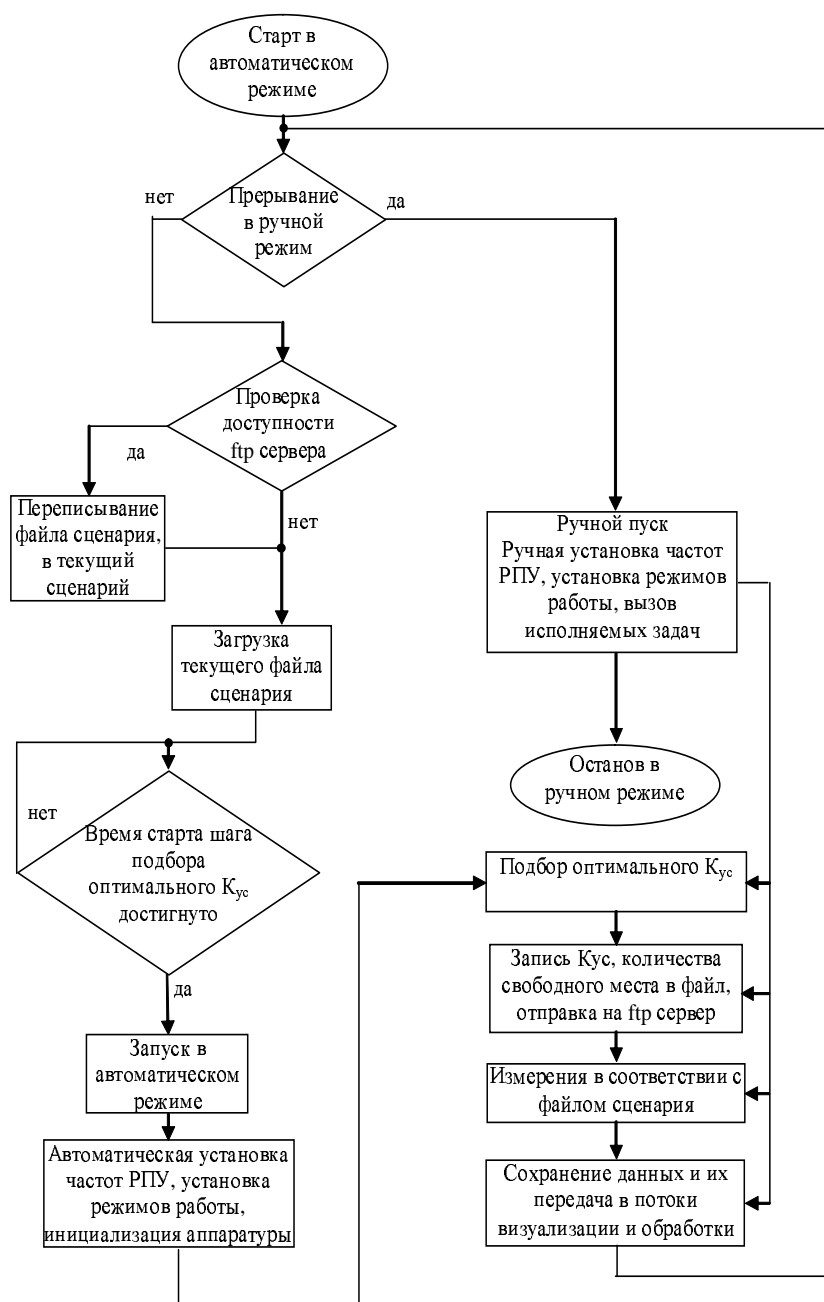


Рис. 2. Блок-схема работы измерительной задачи доплеровского фазоугломерного программного обеспечения комплекса «Спектр»

(SiLabs) C8051F530, который, наряду с высокопроизводительным ядром 8051, обладает встроенным кварцевым генератором, контроллером питания, 12-битным мультиплексированным АЦП, модулем последовательной передачи данных (UART), а также системой внутрисхемной отладки. Совместное использование этого процессора и GSM/GPRS-терминала фирмы Siemens MC35i позволило создать систему контроля физических параметров комплекса.

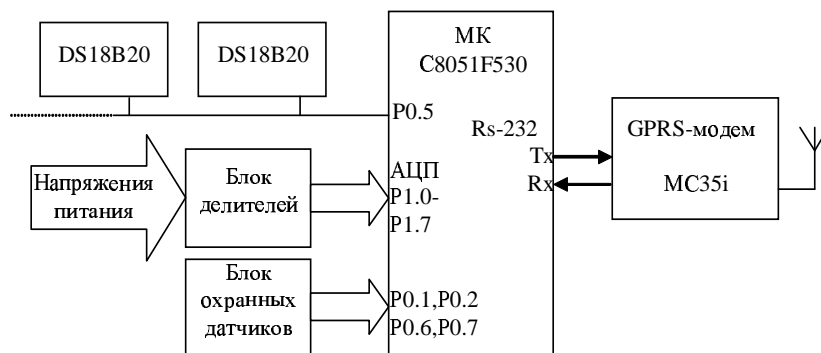


Рис. 3. Функциональная блок-схема системы контроля параметров

Плата контроля физических параметров комплекса представляет собой полностью независимый автономный узел контроля параметров. В состав платы входят микроконтроллер, 2 цифровых термометра, блок делителей питающего напряжения, шинный формирователь интерфейса RS232, GPRS-терминал MC35i. К плате также подключены 3 охранных датчика, срабатывающих на открывание дверей. Функциональная блок-схема системы контроля параметров представлена на рис. 3.

Блок-схема работы программы микроконтроллера представлена на рис. 4.

В основном цикле программы происходит опрос охранных датчиков с частотой около 1 кГц. По прерыванию таймера 1 раз в 1–10 с происходит опрос датчиков температуры и питающих напряжений комплекса. Происходит также отправка SMS-сообщения 1–2 раза в сутки. В случае, если произойдет срабатывание одного из охранных датчиков в течение 100 циклов опроса подряд, немедленно происходит отсылка экстренного SMS-сообщения. Экстренное сообщение также посылается в случае выхода температуры из установленного диапазона. Основным режимом работы платы является работа платы с внешним питанием. Однако можно использовать плату в режиме пониженного энергопотребления, это необходимо при использовании батарейного источника питания. В состав доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр» входит мощный источник бесперебойного питания, который позволяет работать всему комплексу в течение 30–45 мин при отсутствии напряжения в питающей сети. Этого времени достаточно, чтобы плата контроля отправила экстренное сообщение.

Разработанная плата может быть использована с любым модемом, в том числе и проводным, включая встроенные модемы GSM-телефонов, так как для их управления используются стандартные команды.

Заключение

Произведена модернизация аппаратной и программной части доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр». Применение в системе обработки современных технических средств позволило создать надежную измерительную систему для проведения долгосрочных (до нескольких месяцев) непрерывных измерений, что расширило возможности исследования долгопериодных волновых процессов в атмосфере Земли, а также позволило проводить мониторинг ионосферных параметров. Использование разработанной системы калибровки позволило более полно использовать время зондирования, так как нет необходимости тратить время на фазовую калибровку приёмного тракта. Применение современных алгоритмов управления и обработки данных позволяет проводить долговременные измерения в автоматическом режиме.

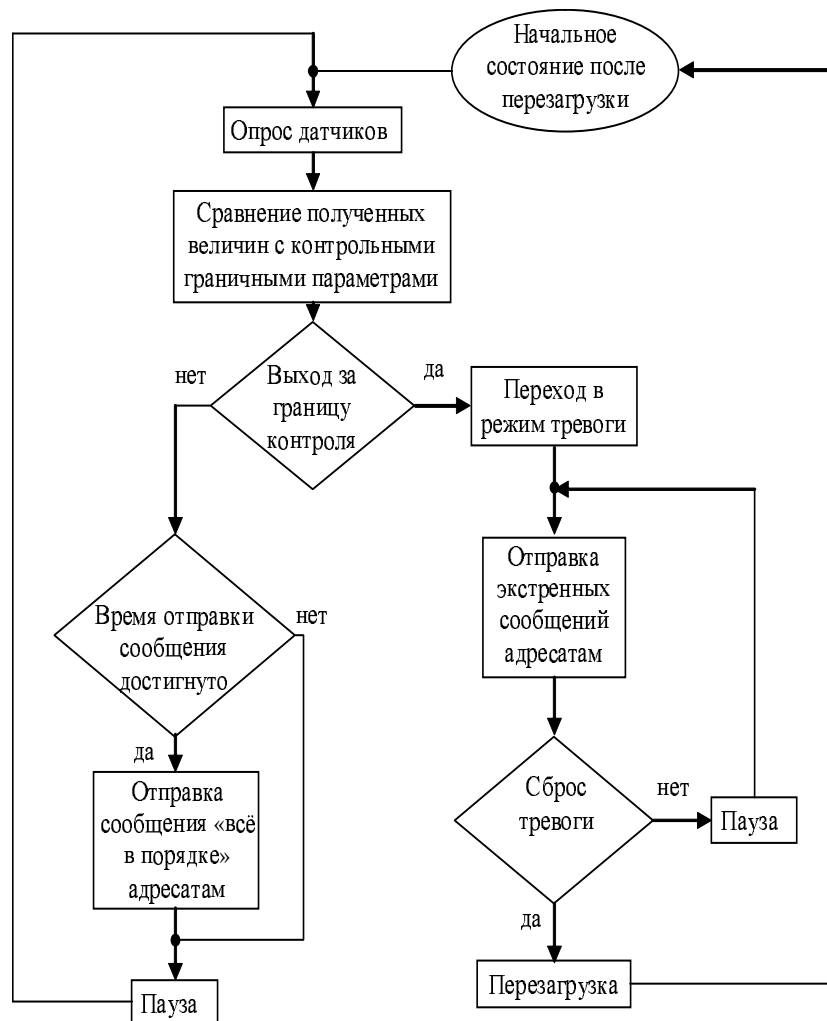


Рис. 4. Блок-схема программного обеспечения системы контроля параметров

Summary

V.V. Bochkarev, A.M. Dresher, R.R. Latipov, I.R. Petrova. Automatic Test and Control System of Doppler Goniometric Complex "Spectr".

Doppler goniometric complex "Specter" was created in 1980-s to investigate receiving angle distribution of SW radio signal reflected from ionosphere. Complex work principle is based on interference methods of ionospheric radio sounding. Sounding signal is a narrowband continuous radio broadcasting signal emitted by SW radio stations (like RVM, RID, Radio Russia, BBC). Its usage in processing system of modern hardware allowed creating a reliable measuring system for carrying out long-term (about several months) continuous measurements. Thus, opportunities for measuring long-period wave processes were broadened, and monitoring of ionospheric parameters was allowed. Using modern algorithms of original management and data processing allowed long-term measurements in an automatic mode.

Key words: ionosphere, doppler frequency shift, doppler goniometric complex "Spectr".

Литература

1. *Теплов В.Ю., Бочкарев В.В., Петрова И.Р., Шорников В.О.* Многоканальный измерительный фазоугломерный комплекс КВ-диапазона // Приём и обработка сигналов в сложных информационных системах. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2003. – № 21. – С. 113–121.
2. *Теплов В.Ю., Бочкарев В.В., Петрова И.Р., Сонгатова А.А., Шорников В.О.* Фазоугломерные исследования параметров сигналов в КВ-диапазоне // Школа-конференция по дифракции и распространению волн: Тр. XII Всерос. конф. – М., 2001. – Т. 2. – С. 329–331.
3. *Афраймович Э.Л.* Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982. – 198 с.
4. *Побережский Е.С.* Цифровые радиоприёмные устройства. – М.: Радио и связь, 1987. – 184 с.
5. *Латыпов Р.Р., Бочкарев В.В., Петрова И.Р.* Развитие аппаратной части доплеровского фазоугломерного комплекса «Спектр» // Излучение и рассеяние электромагнитных волн ИРЭМВ-2007: Тр. конф. – Таганрог: Изд-во ТИ ЮФУ, 2007. – Т. 2. – С. 116–121.
6. *Латыпов Р.Р., Бочкарев В.В., Петрова И.Р.* Использование спектрально поляризационного метода в измерениях на доплеровском фазоугломерном комплексе «Спектр» // Волновые процессы в средах: Сб. докл. Поволжской регион. молодеж. конф. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2007. – С. 56–59.

Поступила в редакцию
20.02.08

Бочкарев Владимир Владимирович – ассистент кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

Дрешер Александр Михайлович – ассистент кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

Латыпов Руслан Рустемович – ассистент кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

E-mail: *rus1at@rambler.ru*

Петрова Инна Романовна – ассистент кафедры радиофизики Казанского государственного университета.